

交互式反应器处理低碳、高氮磷污水的调控策略

付国楷, 周 琪, 杨殿海, 邱兆富
(同济大学 环境科学与工程学院, 上海 200092)

摘 要: 提出了交互式反应器处理低碳、高氮磷城市污水的调控策略。试验表明, 通过不同工艺的合理转换和工艺参数的调整, 采用交互式反应器可以实现对碳源的充分利用、生化物化的优化组合以及合流制排水体制的雨污联合调控。在进水 COD、 $\text{NH}_4^+ - \text{N}$ 、TN、TP 平均浓度分别为 115、24.3、31.3、2.96 mg/L 的条件下, 交互式反应器出水水质可以达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 的一级 B 标准。

关键词: 交互式反应器; 低 C/N 值; 城市污水; 合流制

中图分类号: X703.1 文献标识码: A 文章编号: 1000-4602(2006)13-0034-04

Operation Strategy of Interactive Reactor for Low Carbon but High Nitrogen and Phosphorus-contained Municipal Wastewater Treatment

FU Guo-kai ZHOU Qi YANG Dian-hai QIU Zhao-fu

(School of Environmental Science and Engineering, Tongji University, Shanghai
200092, China)

Abstract The operation strategy of interactive reactor for treating municipal wastewater with low carbon content and high nitrogen and phosphorus content was introduced. The test shows that limited carbon source can be satisfactorily utilized for nitrogen and phosphorous removal in an interactive reactor by switching processes and adjusting operation parameters. The interactive reactor combines with biochemistry and physical chemistry reasonably. Municipal wastewater and rainfall runoff can be treated in the interactive reactor when combined sewer system is adopted. Under conditions of the average influent concentrations of COD, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, TN, and TP being 115 mg/L, 24.3 mg/L, 31.3 mg/L and 2.96 mg/L, respectively, the effluent of the interactive reactor can reach the standard of grade B, class I in *Discharge Standard of Pollutants for Municipal Wastewater Treatment Plant* (GB 18918-2002).

Key words interactive reactor; low C/N ratio; municipal wastewater; combined sewer system

我国南方一些地区城市污水的有机污染物浓度偏低, 而氮、磷浓度相对较高, 且水质、水量受季节和气候影响较大, 给污水厂的设计和运行带来许多困难^[1,2]。同时, 人们对合流制排水体制的重新认识

和雨污联合调控的要求^[3], 也迫使城市污水厂的管理方式逐渐从原来的粗放型向精细型转变。为此, 同济大学、中国市政工程华北设计研究院等单位合作开发了一种新型的交互式反应器, 笔者通过中试

基金项目: 国家科技部“十五”重大专项 (2002AA601023)

对该反应器的调控策略作了探讨。

1 试验装置和设备

交互式反应器共分为 5 个区, 工艺流程如图 1 所示。

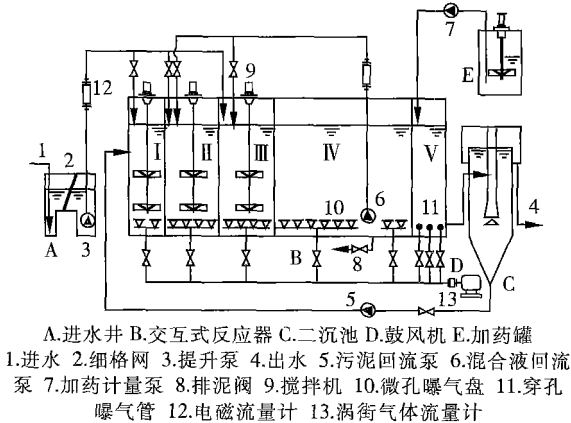


图 1 工艺流程

Fig 1 Flw chart of interactive reactor system

I、II、III区同时设置了微孔曝气装置和搅拌装置, 可根据工艺需要实现厌氧、缺氧、好氧等状态的转换, 原水分别或同时进入这三区, 污泥回流进入 I 区, 混合液可以回流至 II 区和 III 区。另外设有加药设备, V 区除了可以充当好氧池外, 还可以作为物化池使用。由此可见, 交互式反应器能实现多种工艺模式的运行, 可根据进水水质、水量对其进行调节和转换。交互式反应器各区尺寸及有效容积见表 1。

表 1 交互式反应器各区的尺寸及有效容积

Tah 1 Design size and useful volume of every unit

单元	长×宽×有效水深 / (m×m×m)	有效容积 /m ³
I	0.7×1.0×3.0	2.10
II	1.94×1.0×3.0	5.82
III	2.0×1.0×3.0	6.00
IV	6.3×1.0×3.0	18.9
V	1.6×1.0×3.0	4.8

竖流式二沉池的尺寸为 2.85 m×2.0 m, 有效容积为 12.75 m³。

2 原水水质特征

试验地点位于武汉市经济开发区, 原水来自该开发区合流制排水干管的生活污水和少量工业废水, 其全年平均水质情况如表 2 所示, COD、氨氮、总氮、总磷、水温以及 C/N 值、C/P 值和降水量的逐月

变化分别如图 2、3 所示。

表 2 全年平均进水水质

Tah 2 Average influent quality in a year

项目	平均值	最高值	最低值
水温 /℃	20.6	27.9	9.2
pH	7.32	7.84	7.02
SS/(mg·L ⁻¹)	57.4	456	12.2
COD/(mg·L ⁻¹)	115	266	13.0
NH ₄ ⁺ -N/(mg·L ⁻¹)	24.3	52.5	1.8
NO ₂ ⁻ -N/(mg·L ⁻¹)	0.06	1.14	0
NO ₃ ⁻ -N/(mg·L ⁻¹)	0.74	4.42	0
TN/(mg·L ⁻¹)	31.1	61.8	3.24
PO ₄ ³⁻ -P/(mg·L ⁻¹)	2.29	6.90	0.12
TP/(mg·L ⁻¹)	2.96	7.63	0.41
C/N	3.7	11.7	0.8
C/P	38	76.1	7.9

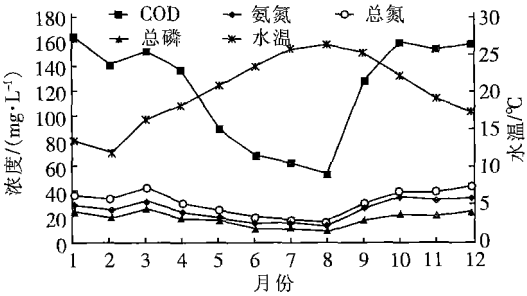


图 2 进水污染物浓度和水温的逐月变化

Fig 2 Monthly variation of influent COD, NH₄⁺-N, TN, TP and temperature

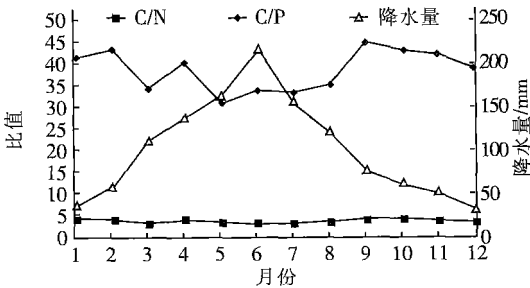


图 3 进水 C/N、C/P 值和降水量的逐月变化

Fig 3 Monthly variation of C/N, C/P and rainfall

由表 2 及图 2、3 可见, 进水呈典型的低碳、高氮磷水质特征, 且水质的季节性变化较大。COD 的年平均值只有 115 mg/L, 春、夏季受降雨影响 COD 值出现低谷, 秋、冬季的进水 COD 值比较平稳; 氮、磷浓度变化与 COD 的相似, C/N 值和 C/P 值变化不大, 说明污染物浓度变化确由稀释作用所引起; 进水平均 C/N 值和 C/P 值分别只有 3.7 和 38, 脱氮除磷所需的碳源明显不足。

3 运行模式探讨

根据原水水质的季节性变化特征,将反应器全年运行分为 5 个阶段: 4 月—5 月上旬为早春阶段; 5 月中旬—8 月为夏季阶段,其中根据是否降雨又分为夏季雨天阶段和夏季晴天阶段; 9 月—12 月为秋季阶段; 1 月—3 月为冬季阶段。需要说明的是,这

几个阶段的时间划分不是绝对的,应根据当年的实际进水水质作适当调整。笔者根据不同阶段的水质特征,以《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002)的一级 B 标准为出水水质目标进行探讨。各阶段采用的工艺模式如表 3 所示,各阶段的进、出水水质见表 4

表 3 交互式反应器运行模式

Tab 3 Operating modes of interactive reactor					
工艺条件	预缺氧 + A ² /O	预缺氧 + 倒置 A ² /O	倒置 A ² /O	A/O	多点进水活性污泥法
I 区	预缺氧	预缺氧	缺氧	缺氧	好氧
II 区	厌氧	缺氧	厌氧	缺氧	好氧
III 区	缺氧	厌氧	好氧	好氧	好氧
IV 区	好氧	好氧	好氧	好氧	好氧
V 区	好氧/物化	好氧/物化	好氧	好氧/物化	好氧/物化
进水至	II 区	II 区和 III 区	I 区和 II 区	II 区	I ~ III 区
混合液回流至	III 区	无	无	无	无
污泥回流至	I 区	I 区	I 区	I 区	I 区
适应阶段	早春	夏季晴天/秋季	冬季	夏季雨天	夏季暴雨

表 4 各运行阶段的进、出水水质

Tab 4 Quality of influent and effluent at different operating stages						
项目		COD	SS	NH ₄ ⁺ - N	TN	TP
早春	进水/(mg·L ⁻¹)	134	65	24.6	30.4	3.32
	出水/(mg·L ⁻¹)	43.6	10	5.42	15.7	1.54
	去除率/%	67.5	84.6	78	48.4	53.6
夏季晴天	进水/(mg·L ⁻¹)	106	51	30.1	33.5	3.14
	出水/(mg·L ⁻¹)	38.4	15	0.64	12.4	2.38
	去除率/%	63.8	70.6	97.9	63	24.2
夏季雨天	进水/(mg·L ⁻¹)	55.4	78	9.24	14.6	1.42
	出水/(mg·L ⁻¹)	20.4	16	0.32	10.2	1.28
	去除率/%	63.2	79.5	96.5	30.1	9.6
秋季	进水/(mg·L ⁻¹)	148	54	33.6	37.6	3.42
	出水/(mg·L ⁻¹)	40.3	12	0.84	13.4	2.12
	去除率/%	72.8	77.8	97.5	64.4	38
冬季	进水/(mg·L ⁻¹)	153	48	32.4	36.4	3.73
	出水/(mg·L ⁻¹)	37.8	13	13.6	18.7	0.76
	去除率/%	75.3	72.9	58	48.6	79.6
注: 出水 TP 值为未投加混凝剂的值。						

3.1 早春阶段

早春阶段进水有机物浓度属中等水平, COD 为 100~ 150 mg/L, C/N 值为 3.5~ 4.2, 水温 > 15 ℃。此阶段系统的硝化功能逐渐恢复, 除磷效果比较理想但逐渐减弱 (在笔者试验前, 系统已连续运行了近一年)。此时可采用带有前置预缺氧池的 A²/O 工艺, 充分利用进水碳源达到脱氮除磷的目的, 即回流污泥进入 I 区, 通过内源反硝化来减弱硝态氮对厌

氧释磷的影响, 原水进入 II 区, 混合液回流至 III 区, IV 区和 V 区均作为好氧池。推荐的工艺参数为: HRT = 8~ 10 h, 污泥回流比为 50% ~ 75%, 混合液回流比为 100% ~ 150%, MLSS = 2 000~ 2 500 mg/L, DO = 1.5~ 2.0 mg/L。

3.2 夏季阶段

夏季降雨量增多, 进水污染物浓度较低, 但受雨量影响波动较大, 冲击负荷强烈。晴天的进水 COD

在 100 mg/L 左右, C/N 值为 3.2~3.5 雨天污染物的浓度更低, 有时进水 COD 和 TN 浓度已经达到出水标准, 只需经过硝化和除磷处理即可排放。此时系统硝化功能很强, 但除磷效果较差。

夏季晴天阶段可采用带有预缺氧池的倒置 A²/O 工艺, 并取消内回流, 以抑制脱氮而强化除磷, V 区除作为好氧池外, 还可作为物化池使用, 根据生物除磷效果适当投加混凝剂, 以达到生化、物化协同作用的目的。另外还应加大进水量, 降低污泥浓度, 进一步提高除磷效率, 同时控制溶解氧以实现同步硝化反硝化。推荐的工艺参数为: HRT=6~8 h 进水平均分配给 II 区和 III 区, 污泥回流比为 75%~100%, MLSS=1 500~2 000 mg/L, DO=1.5~2.0 mg/L。

夏季雨天阶段由于降水强烈, 有机物浓度很低, 若仍采用倒置 A²/O 工艺或常规 A²/O 工艺, 则会出现厌氧池的无效释磷(导致出水磷浓度高于进水), 所以推荐采用 A/O 脱氮工艺, 即 I 区和 II 区作为缺氧池使用, 原水进入 II 区, 剩余三区作为好氧池, 同时辅以化学除磷。工艺参数为: HRT=4~6 h 污泥回流比为 100%, MLSS=1 500~2 000 mg/L, DO=2.0~2.5 mg/L。当出现连降暴雨时, 进水除氨氮和 SS 外, 其他指标都已达到或接近排放标准, 此时可采用多点进水活性污泥法, 即原水分别进入 I 区、II 区和 III 区, I~V 区全部采用好氧, 推荐的工艺参数为: HRT=3~5 h 污泥回流比为 50%, MLSS=1 500~2 000 mg/L, DO=2.0~2.5 mg/L。

夏季阶段三种工艺的切换应视降雨量和进水水质而定, 由于都没有内回流, 故污泥回流量不需作太大调整, 只需控制搅拌器、进气阀、进水阀的开闭即可, 进水量随着降水量的增加而增大, 可以实现合流制排水体制的雨污联合调控。

3.3 秋季阶段

秋季阶段降雨稀少, 进水有机物浓度较高且稳定, COD 在 130~160 mg/L, C/N 值在 4 左右, 水温在 20℃ 左右。此时系统的硝化功能强但逐渐减弱, 除磷效果逐渐好转, 因而仍可以采用带有预缺氧池的倒置 A²/O 工艺, 并可通过控制溶解氧实现短程硝化反硝化, 推荐的工艺参数为: HRT=8~10 h 进水平均分配给 II 区和 III 区, 污泥回流比为 75%~100%, MLSS=2 000~2 500 mg/L, DO=0.3~2.5 mg/L。

3.4 冬季阶段

该阶段进水有机物浓度较高且稳定, COD 为 130~160 mg/L, C/N 在 4 左右, 水温 <15℃。此时系统的硝化功能很弱, 由于受硝态氮影响较小且聚磷菌属于嗜寒性微生物^[4], 所以系统除磷功能很强。试验表明, 与 A²/O 工艺相比, 此时采用倒置 A²/O 工艺可以获得更好的出水水质。与夏、秋季不同的是, 此时的两个 A 段换为 I 区和 II 区, III 区转为好氧区以强化硝化功能。推荐的工艺参数为: HRT=8~10 h, 进水平均分配给 I 区和 II 区, 污泥回流比为 75%~100%, MLSS=2 500~3 000 mg/L, DO=2.5~3.0 mg/L。

4 结论和建议

① 采用交互式反应器处理低碳、高氮磷城市污水, 在进水 COD、NH₄⁺-N、TN、TP 平均浓度分别为 115、24、3、31、3、2、96 mg/L 的条件下, 通过生化—物化联合作用可使出水水质达到《城镇污水处理厂污染物排放标准》(GB 18918—2002) 的一级 B 标准。

② 交互式反应器可根据原水水质、水量的季节性变化灵活调控, 通过不同工艺间的切换, 实现对碳源的充分利用, 并节省能耗。

③ 交互式反应器可以实现合流制城市污水的雨污联合调控, 抗冲击负荷能力强。

④ 应根据原水水质与水量情况并结合排放标准, 选择适宜的调控策略。

参考文献:

- [1] 邵林广. 南方城市污水处理厂工艺的选择[J]. 给水排水, 2000, 26(6): 32~34
- [2] 马培舜, 王海玲, 成丽华, 等. 昆明的城市污水处理现状及发展[J]. 中国给水排水, 2003, 19(4): 19~22
- [3] 洪嘉年. 《室外排水设计规范》修订中值得探讨的若干问题[J]. 给水排水, 2005, 31(1): 107~109
- [4] 王海燕, 周岳溪, 蒋进元. 强化生物除磷系统的微生物种群及其表征技术[J]. 微生物学通报, 2005, 32(1): 118~122

作者简介: 付国楷(1979—), 男, 湖南湘潭人, 博士研究生, 研究方向为水污染控制。

E-mail: fuguoka@163.com

收稿日期: 2006-03-14